

Свойства излучения синхронной спирали на обратной волне

Ключевые слова: замедляющая система, синхронная спиральная антенна, пространственные гармоники, положительная и отрицательная дисперсия, нормальная и аномальная дисперсия, коэффициент замедления, диаграмма направленности, ускоренные и замедленные волны.

В настоящее время в радиоэлектронных устройствах широко применяются антенны, построенные на базе спиральных излучателей различных типов. Рассматриваются свойства синхронных спиральных излучателей. Синхронной спиралью называют структуру, для которой фазовая скорость одной из пространственных гармоник радиально распространяющейся волны постоянна по радиусу и по азимуту спирали, а остальные пространственные гармоники подавлены. Проанализированы физические принципы работы такого излучателя, предложена математическая модель для построения диаграммы направленности спирали. Доказывается, что в синхронной спирали возможно возбуждение волн в режимах с нормальной и аномальной дисперсией, т.е. как с прямыми, так и с обратными волнами. Это свойство открывает новые перспективы для практического использования излучателей на основе синхронной спирали.

Захарова С.С.,

к.т.н., Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ
Факультет электроники и телекоммуникаций
Кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций,
ZaharovaSvetlana@ya.ru

Солнцев В.А.,

д. ф-м. н., профессор, Московский институт электроники
и математики НИУ ВШЭ,
Факультет электроники и телекоммуникаций
Кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций,
soln@miem.edu.ru

Высокие темпы развития радиоэлектронных средств требуют постоянного совершенствования старых и разработки новых решений в области принципов функционирования, типов и конструкций антенн. Все большее распространение получают спиральные антенны. Если говорить о них как о целом классе излучателей, то можно выделить ряд замечательных характеристик. Как правило, в рабочем диапазоне частот спиральные антенны обладают высокой стабильностью основных антенных параметров: диаграмм направленности, входных сопротивлений, поляризационных свойств. В настоящее время в радиосистемах, где требуется без дополнительной перестройки обеспечить передачу или прием радиоволн в полосе частот, превышающей одну октаву широко применяются антенны, построенные на базе логарифмических спиральных структур.

В работе [1] предложен новый класс плоских систем, названных синхронными спиралями. Эти структуры могут представлять интерес для решения широкого круга задач, в т. ч. для создания замедляющих систем, излучателей для антенн и др. В данной работе дано краткое описание синхронных спиралей и исследованы некоторые свойства их излучения на обратных волнах.

Произвольная трехмерная волна, существующая в некоторой системе и имеющая период по одной из координат, может быть разложена в ряд Фурье. Гармоники, входящие в такой ряд, в совокупности образующие электромагнитное поле в системе, называют пространственными гармониками.

Каждой пространственной гармонике соответствует своя фазовая скорость $v_n = \frac{\omega}{h}$, где h — волновое число

для нулевой пространственной гармоники, ω — циклическая частота соответствующего периоду волны в системе.

Всем пространственным гармоникам, существующим в системе, будет соответствовать одна и та же групповая скорость $v_g = \frac{d\omega}{dh}$.

В периодических структурах без потерь групповая скорость равна скорости переноса энергии.

Синхронная спираль представляет собой систему, которая характеризуется тем, что фазовая скорость пространственных гармоник радиально распространяющейся волны постоянна по радиусу и по азимуту спирали. Дифференциальное уравнение для описания синхронной спирали имеет вид [2]:

$$(M^2 - 1)r'^2 + 2R_0 M r' - r^2 + R_0^2 = 0 \tag{1}$$

где $M = \frac{c}{v_n}$ — коэффициент замедления (ускорения)

n -ой пространственной гармоники, $R_0 = nT_0 c = n\lambda_0$ имеет смысл предельного радиуса спирали, n — номер пространственной гармоники, v_n — её радиальная фазовая скорость, T_0 — период и λ_0 — длина волны для которой построена спираль, c — скорость волны вдоль витков, r — радиус соответствующий текущей точке на спирали.

Такая спираль будет характеризоваться коэффициентом M (замедление при $|M| > 1$, ускорение при $|M| < 1$) и значением предельного радиуса спирали.

Геометрическая форма спирали будет определяться выбором параметров, возможно наличие или отсутствия стационарного радиуса. Навиваться спираль к стационарному радиусу может как изнутри, так и снаружи. [3]

Для случая замедленной волны решение уравнения (1) имеет вид:

$$\varphi = \pm \frac{1}{m} \left[\ln -\rho + \sqrt{m^2 + \rho^2} \pm \sqrt{m^2 + 1} \ln \frac{-\rho + \sqrt{m^2 + \rho^2} \mp \sqrt{m^2 + 1} - 1}{-\rho + \sqrt{m^2 + \rho^2} \mp \sqrt{m^2 + 1} + 1} \right] \rho \tag{2}$$

где $\rho = r/R_0$ — безразмерный радиус, R_0 — начальный радиус при $\varphi = 0$, $m = \frac{1}{\sqrt{M^2 - 1}}$.

Для случая ускоренной волны решение уравнения (1) имеет вид:

$$\varphi = \mp \frac{1}{m} \left[2\alpha \operatorname{arctg} t + \sqrt{m^2 - 1} \ln \left| \frac{\sqrt{m^2 - 1} \pm m + t}{\sqrt{m^2 - 1} \pm m - t} \right| \right]_{r_0}^r, \quad (3)$$

где $m = \frac{1}{\sqrt{1 - M^2}}$, $t = \frac{m}{\rho} + \sqrt{\left(\frac{m}{\rho}\right)^2 - 1}$.

Аналитическим путем излучение синхронной спирали может быть определено в приближении тока с комплексной амплитудой $I(l) = I_0 e^{ikl}$, где l — длина, отсчитываемая вдоль витков, $k = \omega/c$ — волновое число, причем в общем случае частота возбуждения $\omega \neq \omega_0$ (λ_n, ω — длина волны и циклическая частота, соответствующие периоду волны в системе; λ_0 — резонансная длина волны и ω_0 — циклическая частота для n -ой пространственной гармоники для которой построена спираль). Таким образом, рассматривается возбуждение спирали заданной волной тока, значение амплитуды которого не изменяется вдоль спирали.

Получим соотношение для случая замедленной волны для спирали, навивающейся к стационарному радиусу $\rho = 1$.

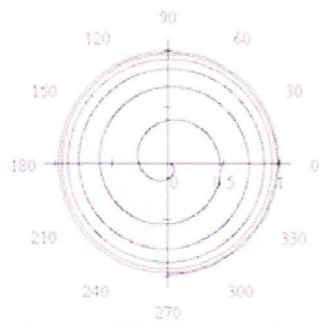


Рис. 1. Вид синхронной спирали для замедленной волны при $0 < \rho \leq 1; M = 7$

Для определения характеристик излучения спирали используем метод векторных потенциалов. Согласно этому методу, в случае монохроматических электромагнитных полей для определения поля по заданным источникам обычно вводят векторный электродинамический потенциал \vec{A} [4].

Найдем значение векторного потенциала в дальней зоне методом векторных потенциалов.

Общее выражение для векторного потенциала синхронной спирали в дальней зоне имеет вид [3]:

$$\vec{A} = \frac{\mu I_0 e^{i\alpha z}}{4\pi R} (\Gamma_\Phi \vec{\Phi}_\Phi + \Gamma_\Theta \vec{\Phi}_\Theta), \quad (4)$$

где μ — магнитная проницаемость, Γ_Φ и Γ_Θ — переменные составляющие векторного потенциала в направлении осей Φ и Θ соответственно. Они определяются так:

$$\Gamma_\Theta = \frac{|m|}{k_0} \left| \cos \Theta \int_0^{\rho_1} e^{\frac{1}{4} \ln \left(\frac{c}{v_n} - \alpha \cos \psi \right) \rho} \left[-\frac{\rho}{\rho'} \sin \psi + \cos \psi \right] \rho d\rho, \quad (5)$$

$$\Gamma_\Phi = \frac{|m|}{k_0} \int_0^{\rho_1} e^{\frac{1}{4} \ln \left(\frac{c}{v_n} - \alpha \cos \psi \right) \rho} \left[\frac{\rho}{\rho'} \cos \psi + \sin \psi \right] \rho d\rho, \quad (6)$$

где $\psi = \varphi - \Phi$, $k_0 = \frac{\omega_0}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$. Значения ρ_0, ρ_1 — граничные радиусы навивки спиральной антенны. В общем случае $\lambda \neq \lambda_0$.

Для пояснения физических принципов работы излучателей, имеющих геометрию синхронной спирали, проведем аналогию с некоторой периодической спиральной замедляющей системой. Будем анализировать сечение такой системы, в виде эквидистантных элементов (рис. 2). В такой системе значение коэффициента замедления будет по-разному зависеть от длины волны для разных пространственных гармоник.

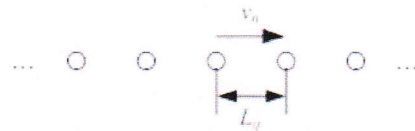


Рис. 2. Сечение замедляющей системы с одинаковым расстоянием между витками

Если обозначить расстояние между элементами L_q , скорость пространственных гармоник — v_n , принять скорость движения волны в витке длиной S_q равной v_s , то согласно [5] для такой системы будет справедливо соотношение $\frac{L_q}{v_n} = \frac{S_q}{v_s} + nT$, где T — период сигнала. Приняв

$v_n = c$ и умножение обеих частей последнего выражения на c/L_q приводит к соотношению

$$\frac{c}{v_n} = \frac{S_q}{L_q} + n \frac{Tc}{L_q} = \frac{S_q}{L_q} + n \frac{\lambda}{L_q}. \quad (7)$$

В выражении (1) отношение c/v_n равно коэффициенту замедления M . В выражении (7) для синхронной спирали выполняется $\lambda = \lambda_0$, поскольку для выполнения аналогии с замедляющей системой требуется соблюдение условия синхронности.

Рассмотрим качественный график зависимости коэффициента замедления M от длины волны λ (рис. 3). В общем случае различают нормальную ($d|M|/d\lambda < 0$) и аномальную ($d|M|/d\lambda > 0$) дисперсию. В соответствии с этим можно выделить области, в которых излучение спирали будет характеризоваться разным типом дисперсии.

Синхронная спираль, свиваемая изнутри к стационарному радиусу, будет работать на первой отрицательной пространственной гармонике. Исходя из графика на рис. 3, можно выделить четыре режима функционирования спирали:

- 1 — излучение с нормальной положительной дисперсией с коэффициентом замедления $M > 1$ (режим замедленных волн; направление распространения энергии совпадает с фазовой скоростью);
- 2 — излучение с нормальной положительной дисперсией с коэффициентом замедления $M < 1$ (режим ускоренных волн; направление распространения энергии совпадает с фазовой скоростью);
- 3 — излучение с аномальной отрицательной дисперсией с коэффициентом замедления $M > -1$ (режим уско-

ренных волн; направление распространения энергии противоположно фазовой скорости);

4 — излучение с аномальной отрицательной дисперсией с коэффициентом замедления $M < -1$ (режим замедленных волн; направление распространения энергии противоположно фазовой скорости).



Рис. 3. Качественная зависимость коэффициента замедления M от длины волны для разных пространственных гармоник

Для построения качественных диаграмм направленности для данных случаев необходимо получить соотношения для расчета диаграммы направленности системы излучателей, соответствующих сечению синхронной спирали некоторой плоскостью, содержащей её ось. Для этого рассмотрим систему излучателей, лежащих на одной прямой.

Условие сложения излучений на основной пространственной гармонике (рис. 4) имеет вид $kL \cos(\theta) = \varphi = h_s S$, где φ — набег фазы на витке спирали при движении от точки 1 к точке 2, k — волновое число, S — расстояние, проходимое волной в направляющей структуре (в проводнике спирали), L — расстояние между излучателями. В последнем выражении компонент $kL \cos(\theta)$ отражает набег фазы при движении волны от излучателя 1 в свободном пространстве. На высших пространственных гармониках аналогичное выражение имеет вид $kL \cos(\theta) = \varphi + 2\pi n$, где $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Если длины волн в свободном пространстве и в направляющей системе одинаковы, то $h_s = k$.

Если рассмотреть систему из Q излучателей, расположенных на одной прямой, то условие сложения волн для соседних излучателей будет иметь вид $kL_q \cos(\theta) = \varphi_q + 2\pi n$, где L_q — расстояние между ними, φ_q — набег фазы на длине S_q при движении волны вдоль спирали от одной точки до другой, соответствующим излучателям.

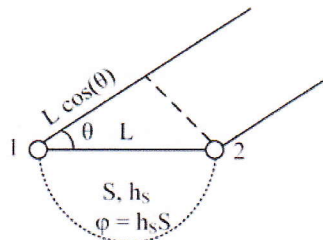


Рис. 4. Система из двух излучателей

Для $n = -1$ имеем $\cos(\theta) = \frac{\varphi_q - 2\pi}{kL_q}$. Если набег фазы между излучателями лежит в интервале $0 < \varphi_q < 2\pi$, то $\cos(\theta) = -\frac{2\pi - \varphi_q}{kL_q} < 0$ и $\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$.

В этом случае для φ_q можно записать, что $\varphi_q = 2\pi + kL_q \cos(\theta) = 2\pi - kL_q |\cos(\theta)|$. Нулевой набег фазы φ_q соответствует $L_q = \lambda |\cos(\theta)|$; $\varphi_q = 2\pi$ при $L_q = 0$. Таким образом, для интервала $0 < L_q < \lambda |\cos(\theta)|$ будет $0 < \varphi_q < 2\pi$.

Для основной (нулевой) гармоники $\cos(\theta) = \frac{\varphi_q}{kL_q}$, $\varphi_q = h_s S$, $\cos(\theta) = \frac{h_s S}{kL_q}$. Для $0 < \varphi_q < 2\pi$ имеем $\cos(\theta) > 0$. Для $n = 1$ $\cos(\theta) = \frac{\varphi_q + 2\pi}{kL_q}$ и при $0 < \varphi_q < 2\pi$ $\cos(\theta) > 0$.

Рассмотрим линейную систему излучателей в количестве Q , расположенных на произвольных расстояниях L_q друг от друга, каждый из которых характеризуется сдвигом фазы φ_{q-1} относительно предыдущего (рис.5). В соответствии с приведенными выше соотношениями диаграмма направленности может быть охарактеризована функцией $\Gamma(\theta)$:

$$\Gamma(\theta) = \exp i \psi_0 + \exp i (\psi_{Q-1} + k \cos(\theta) L_{Q-1}) + \exp i (\psi_{Q-2} + k \cos(\theta) (L_{Q-1} + L_{Q-2})) + \dots + \exp i (\psi_1 + k \cos(\theta) (L_{Q-1} + L_{Q-2} + \dots + L_1)). \quad (8)$$

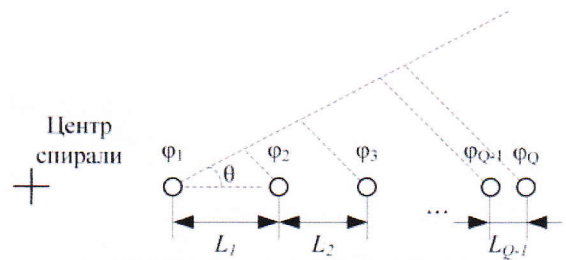


Рис. 4. Поперечное сечение спирали как система неэквилидистантных излучателей

В выражении (8)

$$\psi_q = \psi_1 + \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_{q-1} = \psi_1 + \sum_{k=1}^{q-1} \varphi_k.$$

Оно может быть представлено в виде

$$\Gamma(\theta) = \exp i \psi_0 + \exp i \left(\psi_{Q-1} + k \cos(\theta) \sum_{q=Q-1}^{Q-1} L_q \right) + \exp i \left(\psi_{Q-2} + k \cos(\theta) \sum_{q=Q-1}^{Q-2} L_q \right) + \dots + \exp i \left(\psi_2 + k \cos(\theta) \sum_{q=2}^{Q-1} L_q \right) + \exp i \left(\psi_1 + k \cos(\theta) \sum_{q=1}^{Q-1} L_q \right). \quad (9)$$

В соответствии с приведенным выше выражениями для ψ_q преобразуем (9) к следующему виду.

$$\Gamma(\theta) = \exp i \psi_{\varphi} \left(\exp i \sum_{q=1}^{Q-1} \varphi_q + \exp i \left(\sum_{q=1}^{Q-2} \varphi_q + k \cos(\theta) \sum_{q=Q-1}^{Q-1} L_q \right) + \right. \\ \left. + \exp i \left(\sum_{q=1}^{Q-3} \varphi_q + k \cos(\theta) \sum_{q=Q-2}^{Q-1} L_q \right) + \dots + \exp i \left(\sum_{q=1}^1 \varphi_q + k \cos(\theta) \sum_{q=2}^{Q-1} L_q \right) + \right. \\ \left. + \exp i \left(\sum_{q=1}^0 \varphi_q + k \cos(\theta) \sum_{q=1}^{Q-1} L_q \right) \right). \quad (10)$$

В выражении (10) $\sum_{q=1}^0 \varphi_q = 0$. С учетом того, что

$$\psi_j = \psi_Q - \sum_{q=Q-1}^j \varphi_q, \text{ получаем}$$

$$\Gamma(\theta) = \exp i \psi_Q \left(1 + \exp i \left(\sum_{q=Q-1}^{Q-1} (L_q k \cos(\theta) - \varphi_q) \right) + \right. \\ \left. + \exp i \left(\sum_{q=Q-1}^{Q-2} (L_q k \cos(\theta) - \varphi_q) \right) + \right. \\ \left. + \dots + \exp i \left(\sum_{q=Q-1}^1 (L_q k \cos(\theta) - \varphi_q) \right) + \dots + \exp i \left(\sum_{q=Q-1}^0 (L_q k \cos(\theta) - \varphi_q) \right) \right) = \\ = \exp i \psi_Q \left(1 + \sum_{j=1}^{Q-1} \left(\exp i \left(\sum_{q=Q-1}^j (L_q k \cos(\theta) - \varphi_q) \right) \right) \right). \quad (11)$$

Последнее соотношение может быть использовано для расчета диаграммы направленности синхронной спирали при работе в разных режимах. В случае, если $L_q k \cos(\theta) - \varphi_q = 2\pi n$, то $\Gamma(\theta) = Q \exp(i\psi_Q)$, и излучение всех излучателей сложится на частоте $\omega = kc$ под углом θ . При $n = -1$ имеем $L_q k \cos(\theta) = \varphi_q - 2\pi$, т.е. при $0 < \varphi_q < 2\pi$ для системы излучателей будет характерно излучение обратных волн.

Рассмотрим как частный случай

$$L_q k \cos(\theta) - \varphi_q = \delta \ll 1.$$

Тогда выражение (11) после ряда преобразований, основанных на близости δ к нулю, а также на свойствах рядов, может быть приведено к виду

$$\Gamma(\theta) = Q \exp i \psi_Q \left(1 - \frac{\delta}{2} (Q-1) \left(\frac{\delta}{6} (2Q-1) - i \right) \right). \quad (12)$$

Расчет диаграмм направленности на основе соотношения (11) может быть осуществлен, если в качестве излучателей рассмотреть точки пересечения синхронной спирали с лучом $\varphi = 0$. Из рис. 3 следует, что для этого необходимо рассматривать синхронную спираль как для замедленных, так и для ускоренных волн при резонансной длине волны. Для обеспечения синхронности диаграммы направленности следует строить для резонансной длины волны.

Синхронная спираль для замедленных волн может работать в режимах 1 и 4 (рис. 3). Поскольку при $|M| \gg 1$ спираль имеет большое количество витков, то удобнее рассмотреть часть сечения спирали и построить диаграмму направленности для излучателей, для которых значения L_q и S_q определяется геометрией спирали, а значение полярного угла отличается на 2π . При исследовании рассматривалось семь точек; $R = 0,01$ м; $\lambda_0 = 6,28$ см.

На рис. 6 приведены ненормированные диаграммы направленности для $|M| = 10$. Для случая $M = 10$ (рис. 6а) максимум излучения для системы излучателей будет на-

правлен под углом $\theta = 0$, т.е. вдоль радиуса спирали от её центра. Это означает, что спираль будет излучать волны с положительной дисперсией (режим 1), а диаграмма направленности будет иметь гантелевидную форму.

Если $M = -10$ (рис. 6б), то для этих же условий максимум излучения будет направлен под углом $\theta = 180^\circ$, т.е. волны будут распространяться к центру спирали. В данном случае спираль будет излучать волны с отрицательной дисперсией (режим 4), что означает противоположность направлений распространения волн и передачи энергии. С учетом частичной компенсации поля в плоскости спирали диаграмма направленности будет соответствовать осевому режиму излучения.

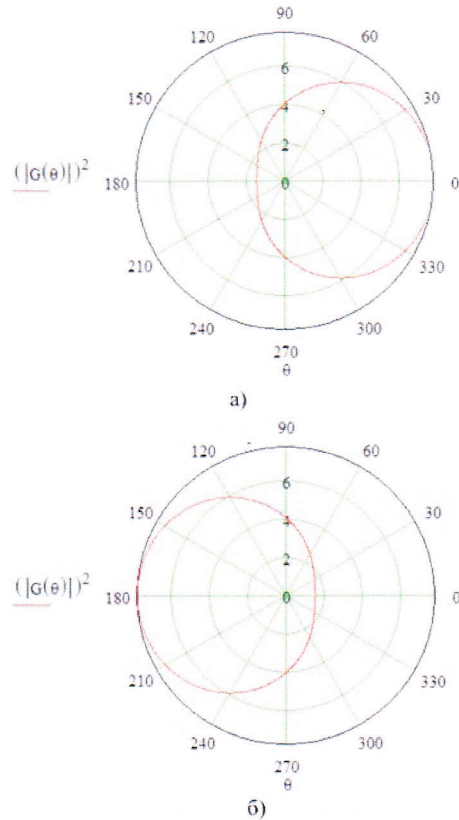


Рис. 6. Диаграммы направленности синхронной спирали для замедленных волн на резонансной длине волны: а) для $M=10$; б) для $M=-10$

Диаграммы, приведенные на рис. 6, соответствуют описанному выше сечению спирали лучом. Для получения полной диаграммы направленности синхронной спирали в режиме обратной волны, соответствующей области 4 на рис. 3, необходимо просуммировать парциальную диаграмму на рис. 6, б с аналогичной характеристикой от другой части спирали. Результат такого суммирования с учетом фазовых соотношений и нормирования представлен на рис. 7. Полученная диаграмма направленности имеет форму, соответствующую рассчитанной для работы синхронной спирали на резонансной длине волны [6].

При исследовании спиралей для ускоренных волн необходимо учесть, что они быстро скручиваются к стационарному радиусу. Поэтому в качестве излучателей следует рассматривать сечение спирали, состоящее из точек, полярный угол для которых отличается на π , т.е. полное сечение спирали. Всего рассматривалось четыре точки; $R = 0,01$ м; $\lambda_0 = 6,28$ см.

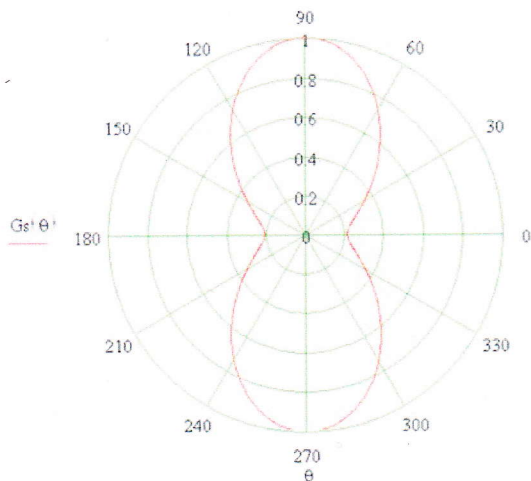


Рис. 7. Диаграмма направленности синхронной спирали на резонансной длине волны

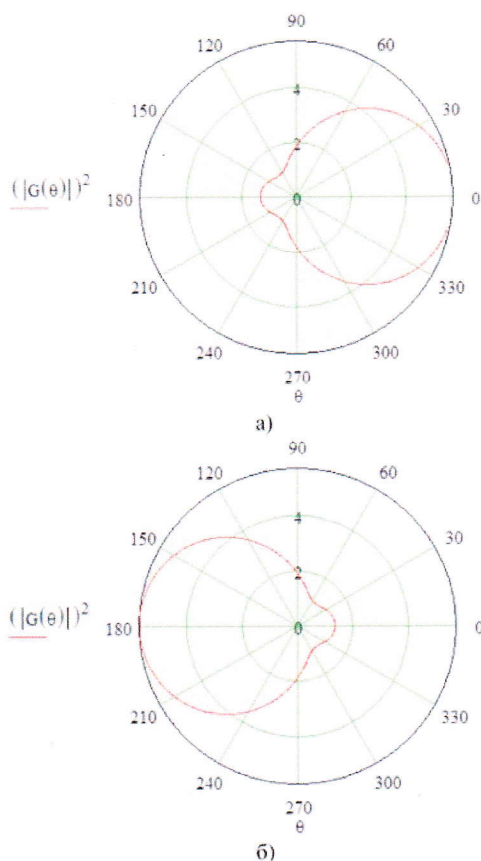


Рис. 8. Диаграммы направленности синхронной спирали для ускоренных волн на резонансной длине волны: а) для $M = 0,9$; б) для $M = -0,9$

Синхронная спираль для ускоренных волн будет работать в режимах 2 и 3 (рис. 3). На рис. 8 приведены ненормированные диаграммы направленности для $|M| = 0,9$. Для случая $M = 0,9$ (рис. 8а) максимум излучения для системы излучателей будет направлен под углом $\theta = 0$, т.е. вдоль радиуса спирали от её центра. Это означает, что спираль будет излучать волны с положительной дисперсией (режим 2), а диаграмма направленности будет иметь максимум в плоскости спирали.

Если $M = -0,9$ (рис. 8б), то для этих же условий максимум излучения будет направлен под углом $\theta = 180^\circ$, т.е. волны будут распространяться к центру спирали. В данном случае спираль будет излучать волны с отрицательной дисперсией (режим 3), что означает противоположность направлений распространения волн и передачи энергии. Максимум излучения будет наблюдаться в направлении оси спирали.

Заданный коэффициент замедления соответствует резонансной длине волны. Из графика на рис. 3 следует, что при варьировании длины волны спираль будет возбуждаться в разных режимах.

Из проведенного анализа следует, что синхронные спирали как класс излучателей могут работать во всех четырех режимах, характерных для замедляющих систем. При этом возможно возбуждение волн с положительной и отрицательной дисперсией. Спирали для замедленных волн могут работать в режимах, соответствующих гантелевидной и осевой диаграмме направленности. Многолучевой режим соответствует возбуждению на высших гармониках. Это открывает широкие перспективы использования излучателей на основе синхронных спиралей в практических разработках.

Литература

1. Солтцев В.А. Плоские спиральные системы с постоянной радиальной фазовой скоростью // Радиотехника и электроника, т.39, №4, 1994. – С. 552-559.
2. Солтцев В.А. Синхронная спираль – плоская замедляющая система с постоянной фазовой скоростью // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-92. Труды международной научно-технической конференции т1, ч2. Новосибирск, 1992. – С.12-16.
3. Захарова С.С. Солтцев В.А. Расчет электромагнитного поля спирали, возбуждаемой волной тока // Труды НИИР, Сб. ст. – М.: НИИР, №4, 2008. – С. 51-54.
4. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. – М.: Энергия, 1975.
5. Захарова С.С. Солтцев В.А. Расчет электромагнитного поля синхронной спирали, возбуждаемой волной тока // Труды НИИР, №4, 2008. – С.51-54.
6. Захарова С.С. Расчет характеристик антенн на основе синхронных спиралей // Электромагнитная совместимость и проектирование электронных средств, сборник научных трудов. / Под ред. Кечиева Л.Н. – М.: МИЭМ, 2009. – С. 106-117.

The radiation properties synchronous spiral on the backward wave

Soltsev V.A., Zacharova S.S.

Abstract. Currently, electron devices are widely used antenna, built on the basis of different types of spiral radiators. The paper deals with the properties of synchronous spiral radiators. Synchronous call spiral structure, for which the phase velocity of one of the spatial harmonics of the radially propagating wave is constant in radius and azimuth spiral, and other spatial harmonics are suppressed. This paper analyzes the physical principles of operation of the radiator, the mathematical model for the construction of a spiral pattern. It is proved that in the synchronous spiral waves can be excited in the modes with the normal and anomalous dispersion, ie both direct and backward-wave oscillators. This feature opens up new prospects for the practical use of emitters based on synchronous spiral

Keywords: slow-wave system, synchronous spiral, antenna, spatial harmonics, the positive and negative dispersion, the normal and anomalous dispersion, retardation coefficient, radiation pattern, fast and slow waves.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА НОМЕРА:

"Системы подвижной связи и цифрового телерадиовещания"

Абрамов В.А., Попов О.Б., Ождин Г.М., Черников К.В. Повышение эффективности регулирования громкости сигналов телерадиовещания	4
Абрамов В.А., Попов О.Б., Ождин Г.М., Рихтер С.Г. Оценка качества обработки звуковых сигналов в радиовещательных студиях	6
Александрова О.Ю., Бондаренко С.М., Гутцайт Э.М., Жидков Р.А. Плазменные осветительные устройства на основе СВЧ-разряда	9
Андрейко Д.Н., Комаров П.Ю., Игнатов Ф.М. Основные методы сжатия данных в передаче цифровых видеоизображений	12
Белов А.С. Адаптивный способ сжатия изображений	16
Борисов А.А., Глебович А. А., Ождин Г.М., Чернышева Т.В. Накопление искажений в многозвенных трактах первичного распределения канала звукового вещания	19
Бушин Д.С., Игнатов Ф.М. Методы оптимизации определения направления предсказания intra модели кодирования	23
Быков В.В., Меньшиков К.В. Помехоустойчивые коды цифрового телевидения	30
Быховский М.А. Повышение эффективности использования РЧС при применении в телерадиовещании синхронных сетей	34
Варламов О.В. Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM	39
Варламов О.В. Особенности частотно-территориального планирования сетей радиовещания DRM диапазонов НЧ и СЧ	43
Варламов О.В. Разработка отечественной нормативной базы цифрового радиовещания стандарта DRM	47
Гайнутдинов Т.А., Гаранкина Н.И., Кочержевский В.Г. Исследование способов модернизации действующей передающей радиовещательной антенны АМШП для работы в стандарте DRM	51

Заказ журналов:

- по каталогу "Роспечат" (индекс 80714)
- "Деловая пресса" (www.delpress.ru)
- в редакции (info@media-publisher.ru)

Возможен также заказ через региональные альтернативные подписные агентства
<http://www.media-publisher.ru/raspr.shtml>

Стоимость одного экземпляра 300 руб.

Целевая аудитория по распространению

- Телекоммуникационные компании;
- Дистрибьюторы телекоммуникационного оборудования и услуг;
- Контент-провайдеры;
- Разработчики и производители абонентского оборудования;
- Предприятия и организации нефтегазового комплекса;
- Энергетические компании;
- Автотранспортные предприятия;
- Крупные организации с собственным автомобильным автопарком;
- Компании, занимающиеся железнодорожными, воздушными и морскими перевозками;
- Логистические и экспедиционные компании;
- Провайдеры охранно-поисковых услуг;
- Геодезические и картографические организации;
- Государственные ведомства и организации;
- Строительные компании;
- Профильные учебные заведения

Тираж 3000 экз. + Интернет-версия

Адрес редакции

111024, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514
e-mail: ds@media-publisher.ru
Тел.: +7(495) 957-77-43

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС77-27364

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции. За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет

Материалы, опубликованные в журнале — собственность ООО "ИД Медиа Паблшер". Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя
All articles and illustrations are copyright. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock Company

Вниманию авторов!

Для начисления авторского гонорара необходимо указать ваши ФИО, почтовый адрес (с индексом), паспортные данные (серия, номер, кем и когда выдан), ИНН, номер свидетельства пенсионного страхования, дату и место рождения, номер телефона.

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается

© ООО "ИД Медиа Паблшер", 2013

www.media-publisher.ru

Груздев В.В.

Ключевые генераторы с внешним возбуждением класса Е с ППГ-ферровариометром в формирующем П-контуре 57

Гутцайт Э.М., Маслов В.Э., Агафонова Т.А.

Эффективные светодиодные модули с высоким качеством цветопередачи 60

Дулов И.В.

Вопросы коррекции характеристик усилителя мощности цифрового СВЧ радиовещания с АРР по питающему напряжению 63

Елизаров А.А., Ефремова М.В.

Системы формирования электронных пучков в электровакуумных СВЧ-приборах: современное состояние и тенденции развития 70

Елизаров А.А., Закирова Э.А.

Моделирование излучения кромок многослойных печатных плат СВЧ-диапазона 74

Елизаров А.А., Каравашкина В.Н.

Конструктивно-технологические особенности устройств на замедляющих системах с аномальной дисперсией 77

Елизаров А.А., Шаймарданов Р.В.

Исследование электродов для внутрисполостной микроволновой физиотерапии с экранировкой магнитного поля 82

Жук А.П., Орёл Д.В.

Ускоренный численный метод приближенного вычисления значений логарифмической функции для решения задачи формирования систем квазиортогональных кодовых последовательностей 85

Иванюшкин Р.Ю., Юрьев О.А.

Проблематика построения РЧ-тракта передатчиков цифрового радиовещания диапазона СВЧ на основе метода Л. Кана 91

Карлушин К.А., Медведева Е.В.

Метод выделения движущихся объектов в видеоизображениях на основе трехмерных цепей маркова 94

Комаров С.Н., Тertyшников А.В.

Разработка и исследование многофазных синтезаторов радиочастот с мощным выходом 97

Косичкина Т.П., Хасьянова Е.Р.

Анализ влияния характеристик квадратурных преобразователей на работу радиоприемных устройств цифровых сигналов радиосвязи и телерадиовещания 100

Кузнецов А.Л., Бусаев О.Г. Исследование различимости цвета	104
Лорей Н.А. Оценка требований к производительности измерительного комплекса, обслуживающего средства подвижной радиосвязи	106
Мирошникова Н.Е. Обзор систем когнитивного радио	108
Мирошникова Н.Е. Влияние ошибок синхронизации на прием цифровых сигналов	112
Орлов В.Г., Пушкарев А.В. Перспективы развития мобильного видео	115
Панкратов Д.Ю. Моделирование пропускной способности радиоканала системы ММО в условиях пространственно коррелированных замираний	118
Петренко А.А., Кирик Ю.М. Перспективы применения радиорелейных линий в новых частотных диапазонах 60-80 ГГц	120
Рихтер С.Г., Смирнов А.В. Оценка скорости абонента системы Mobile Wimax ...	123
Самойлов А.Г., Самойлов С.А. Концепция согласования радиопередающих устройств с нагрузками	127
Смирнов А.В., Горгадзе С.Ф. Принципы повышения эффективности усиления сигнала с большим пик-фактором	132
Захарова С.С., Солнцев В.А. Свойства излучения синхронной спирали на обратной волне	135
Суворов К.А. Системы виртуальной реальности и их применение ...	140
Федотова Т.Н. Исследование фазовых и частотных характеристик многослойных взаимных ферритовых фазовращателей	144

Журнал включен в перечень периодических научных изданий, рекомендуемый ВАК Минобразования России для публикации научных работ, отражающих основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций.

Учредитель

ООО "Издательский дом Медиа Паблшер"

Главный редактор

В.О. Тихвинский

Издатель

С.С. Дымкова

ds@media-publisher.ru

Редакционная коллегия

А.С. Аджемов, Е.Б. Алексеев,
Альберт Вааль, А.А. Гоголь,
Юлиус Головачев, В.Л. Горбачев,
Ю.А. Громаков, А.И. Демьянов,
Б.В. Зверев, Ю.Б. Зубарев, В.Р. Иванов,
Юрий Кирхгесснер, Т.А. Кузюкова,
В.Н. Лившиц, С.Л. Мишенков,
О.Е. Наний, Н.П. Резникова,
И.В. Парфенов, Ш.Ж. Сеилов,
В.О. Тихвинский, В.В. Фронтов,
Майкл Шарп, А.Б. Юрчук

Редакция

Выпускающий редактор

Андрей Волков

va@media-publisher.ru

Специалист по маркетингу и PR

Кристина Маркарова

kristina@media-publisher.ru

Директор отдела развития и рекламы

Ольга Дорошкевич

ovd@media-publisher.ru

Отдел распространения и подписки

info@media-publisher.ru

Предпечатная подготовка

ООО "ИД Медиа Паблшер"

Поддержка Интернет-портала

Сергей Алексанян